



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenl gungsschrift**  
⑩ **DE 100 03 896 A 1**

⑳ Aktenzeichen: 100 03 896.4  
㉑ Anmeldetag: 29. 1. 2000  
㉒ Offenlegungstag: 2. 8. 2001

㉓ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**H 01 F 7/18**  
H 01 F 7/13  
F 15 B 13/044  
F 16 K 31/06  
F 16 H 63/02

DE 100 03 896 A 1

㉗ Anmelder:  
ZF Friedrichshafen AG, 88046 Friedrichshafen, DE

㉘ Erfinder:  
Mayr, Karlheinz, 88142 Wasserburg, DE; Eisele, Markus, 88250 Weingarten, DE; Ingenbleek, Robert, Dr., 88079 Kressbronn, DE; Kill, Walter, 88046 Friedrichshafen, DE; Remmlinger, Hubert, 88046 Friedrichshafen, DE; Fischer, Jochen, 88046 Friedrichshafen, DE; Feßler, Bernd, 88079 Kressbronn, DE

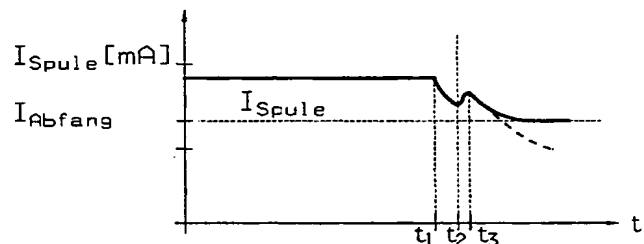
㉙ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 198 32 198 A1  
DE 198 07 875 A1  
DE 197 42 037 A1  
DE 195 44 207 A1  
DE 195 18 056 A1  
DE 44 30 867 A1  
DE 43 30 531 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

㉚ Verfahren zur Steuerung eines Proportional-Magneten mit Haltefunktion

㉛ Verfahren zur Steuerung eines Proportional-Magneten mit einem Magnetkern, einem Magnetanker, einer Magnetspule, zur Betätigung eines Steuerelementes in einem Schaltventil oder einem Proportional-Druckregelventil, insbesondere einem Druckregelventil für die Kupplungsbetätigung in einem automatischen Kraftfahrzeug-Getriebe, und mit einer elektronischen Steuervorrichtung, wobei der Magnetanker zwischen einem Regelbereich und einem Haltebereich mit einer magnetischen Halteposition des Magnetankers hin- und herbewegbar ist und ein definierter Übergang vom Regelbereich in die Halteposition ausführbar ist, wobei Mittel vorgesehen sind, welche die Bewegungen des Magnetankers erkennen.



DE 100 03 896 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung eines Proportional-Magneten mit einem Magnetkern, einem Magnetanker, einer Magnetspule, zur Betätigung eines Steuerelements in einem Schaltventil oder einem Proportional-Druckregelventil und einer elektronischen Steuervorrichtung. Insbesondere betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Steuerung eines Proportional-Magneten in einem Proportional-Druckregelventil für die Kupplungsbetätigung in einem automatischen Kraftfahrzeuggetriebe, wobei der Magnetanker zwischen einem Regelbereich und einem Haltebereich mit einer magnetischen Halteposition des Magnetankers hin und her bewegbar ist und ein definierter Übergang vom Regelbereich in die Halteposition ausführbar ist.

Die Erfindung betrifft ferner einen Proportional-Magneten zur Durchführung des Verfahrens sowie ein Proportional-Druckregelventil, welches einen vorgenannten Proportional-Magneten enthält.

Ein Proportional-Magnet in der vorgenannten Bauweise für den Einsatz in einem Proportional-Druckregelventil ist beispielsweise aus der DE 199 04 901 der Anmelderin bekannt. In dieser Schrift ist ein Ventil beschrieben, welches als Vorsteuerventil zum Ansteuern von Kupplungen in automatischen Kraftfahrzeug-Schaltgetrieben verwendet wird (CE-Druckregler).

Ein ähnliches Proportional-Druckregelventil, welches ebenfalls einen Proportional-Magnet der oben genannten Bauart enthält, ist aus der DE 199 04 902 der Anmelderin bekannt. Dieses Dokument betrifft insbesondere Ventile, welche als Direktsteuerventile zum Ansteuern von Kupplungen in automatischen Kraftfahrzeug-Schaltgetrieben verwendet werden (ZF-Druckregler).

In den vorgenannten Anmeldungen sind somit entweder Proportional- oder Haltemagnete bzw. Schaltmagnete beschrieben, welche einen definierten Übergang vom Regelbereich in einen Haltebereich bzw. in eine magnetische Halteposition realisieren. Dieser definierte Übergang wird gemäß dem Stand der Technik dadurch erreicht, daß durch die an sich bekannte Magnet-Charakteristik mit großen Magnetkräften bei geringen Luftspalten zwischen dem Magnetanker und dem Magnetkern und durch eine entsprechende Magnetauslegung ein Spulenstrom bzw. ein "Schnappstrom" eingestellt werden kann, bei welchem der Regelbereich des Magneten schnell überfahren wird, d. h., daß der Magnetanker aus dem Regelbereich in die Halteposition "schnappt" und der Magnetanker im Bereich der hohen Magnetkraft in der Halteposition gehalten wird.

Eine Bewegung in entgegengesetzter Richtung, nämlich das Lösen des Proportional-Magneten aus dem Haltebereich bzw. der Halteposition und der Übergang in den Regelbereich, war gemäß dem Stand der Technik bislang nicht in befriedigender Weise kontrollierbar.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren anzugeben, welches die Bewegungen des Magnetankers erkennt und somit zum definierten Abschalten des Proportional-Magneten bzw. zum Lösen eines mit diesem verbundenen Steuerelements eines Schalt- oder Proportional-Druckregelventils aus der Halteposition einsetzbar ist, um somit einen definierten Übergang vom Haltebereich, insbesondere der Halteposition, in den Regelbereich zu realisieren. Es ist weiterhin eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Proportional-Magnet zur Durchführung des Verfahrens sowie ein Proportional-Druckregelventil anzugeben, welches einen derartigen Proportional-Magneten enthält.

Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt mit einem Verfahren, einem Proportional-Magnet sowie mit einem Proportional-

Druckregelventil mit den in den Ansprüchen 1, 19 und 26 angegebenen Merkmalen.

Erfindungsgemäß sind für das Verfahren zur Steuerung eines Proportional-Magneten Mittel vorgesehen, welche die Bewegungen des Magnetankers erkennen. Hiermit wird ein Verfahren vorgeschlagen, welches vorteilhafterweise jede Bewegung des Magnetankers in einem Proportional-Magneten detektierbar macht. Somit kann sowohl eine Bewegung des Magnetankers von dem Regelbereich in die Halteposition als auch eine Bewegung in umgekehrter Richtung erkannt werden.

Die Erfindung basiert auf dem folgenden physikalischen Effekt, daß nämlich einerseits die Haltefunktion des Magnetankers in dem Bereich hoher Magnetkräfte und kleiner Luftspalte im Elektromagneten erfolgt; dieser Bereich ist elektrisch durch eine erhöhte Induktivität gekennzeichnet. Andererseits induziert das Lösen des Magnetankers von dem Magnetkern eine Spannung, welche über den Spulenwiderstand unmittelbar den Spulenstrom beeinflusst.

Da insbesondere bei einem Proportional-Druckregelventil die Bewegungen des Magnetankers im wesentlichen den Bewegungen eines Steuerelements des Ventils entsprechen, werden mit dem erfindungsgemäßen Verfahren vorteilhafterweise mehrere Anwendungen zur Steuerung eines Proportional-Magneten ermöglicht, welche im folgenden beschrieben sind.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung wird der Spulenstrom nun als direktes Meßsignal in der elektrischen Steuervorrichtung zur Verfügung gestellt, so daß ohne zusätzliche Sensorik die Wegänderung des Magnetankers erkannt werden kann. Die Detektion der Bewegung des Magnetankers ist somit vorteilhafterweise unabhängig von Bauteiltoleranzen und/oder Umgebungsbedingungen.

In einer besonders vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird vorgeschlagen, daß die Mittel das Lösen des Magnetankers aus der Halteposition erkennen und der Magnetanker mittels der elektronischen Steuervorrichtung kontrolliert aus der Halteposition in den Regelbereich überführt wird. Dies erfolgt dadurch, daß der Zeitpunkt, in dem das Ablösen des Magnetankers von dem Magnetkern stattfindet, durch einen Anstieg des Spulenstroms von der elektronischen Steuervorrichtung erkannt wird. Die danach einsetzende Stromkorrektur fängt den Magnetanker während seines Ablösevorgangs von dem Magnetkern ab, d. h., daß der Magnetanker unmittelbar nach dem Lösen von dem Magnetkern aus der Halteposition durch die einsetzende Stromkorrektur kontrolliert in den Regelbereich des Proportional-Magneten überführt wird, bevor der durch das Proportional-Druckregelventil zu steuernde hydraulische Druck einbricht.

Selbstverständlich wird durch die erfindungsgemäßen Mittel auch ein Durchschalten des Magnetankers vom Regelbereich in die Halteposition erkannt, indem ein zugehöriger Duchschnapp-Grenzstrom detektiert wird, welcher wiederum zur Berechnung des Abfangstroms verwendet wird.

Vorteilhafterweise kann somit auch auf elektronischem Weg ein unbeabsichtigtes Durchschalten des Magnetankers, beispielsweise bei einem Hauptdruckeinbruch, vom Regelbereich in den Haltebereich erkannt und Gegenmaßnahmen eingeleitet werden.

In einer weiteren Ausbildung des Steuerverfahrens wird vorgeschlagen, daß in der elektronischen Getriebesteuerung eine Strom-Schwellwertvorgabe I<sub>Schwell</sub> abspeicherbar ist, so daß beim Überschreiten dieser Vorgabe durch den Spulenstrom vorteilhafterweise der Zeitpunkt des LöSENS des Magnetankers von dem Magnetkern feststellbar ist.

Da der Spulenstrom üblicherweise geregelt wird, wirkt somit der Stromregler dem erfindungsgemäßen Effekt ei-

gentlich entgegen, das bedeutet, daß der Strom-Sollwert  $I_{\text{Soll}}$  zur Auslösung der Abschaltfunktion derart zu wählen ist, daß der Regler in seiner unteren Stellgrößenbeschränkung bleibt. Dies entspricht de facto einem Abschalten des Reglers, da der durch das Lösen des Magnetankers induzierte Stromanstieg kein weiteres Abregeln bewirkt. Erfindungsgemäß erfolgt nach dem Lösen des Magnetankers von dem Magnetkern eine geeignete Strom-Sollwertvorgabe, wobei dies vorteilhafterweise geschieht, bevor der von dem Proportional-Druckregelventil zu steuernde Druck einbricht, d. h., daß der Regeldruck auf einen Wert unterhalb des Kupplungsschließdruckes fällt.

Das Proportionalventil ist mit einem Schieberventilkörper ausgebildet, welcher vorteilhafterweise eine derartige geometrische Auslegung der Überdeckungsverhältnisse seiner Steuerkanten aufweist, so daß mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens das Lösen des Magnetankers bereits festgestellt wird, und die kontrollierte Führung in den Regelbereich beginnt, bevor die Bewegung des Magnetankers bzw. des Ventilkörpers eine hydraulische Wirkung erzeugt.

Für ein Verfahren zur Steuerung eines Proportional-Druckregelventils mit einem Sitzventilkörper ist dieses für Getriebeanwendungen derart auszulegen, daß die beim Lösen des Ankers auftretende Druckänderung vorteilhafterweise oberhalb des Kupplungshaltedruckes liegt.

Zur Detektion der Bewegungen des Magnetankers sind prinzipiell verschiedene Realisierungsmöglichkeiten einsetzbar, die sich in Hardware- oder Software-Realisierungen sowie auch in Online- und Offline-Verfahren unterteilen lassen.

Zur Hardware-Realisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird vorgeschlagen, daß die Detektion vorteilhafterweise mittels eines ASIC (Application Specific Integrated Circuit) erfolgt.

In einer vorteilhaften Weiterbildung wird vorgeschlagen, daß einzelne Spitzenwerte des Spulenstroms detektiert werden und daß beim Lösen des Magnetankers der Spulenstrom sofort wieder auf einen Sollwert angehoben wird, der die Schaltelemente, beispielsweise die Kupplung in einem Getriebe, auf einem sicheren Schließdruck hält.

Beim Lösen des Magnetankers von dem Magnetkern wird ein binäres Signal an die elektronische Steuervorrichtung, insbesondere die elektronische Getriebesteuerung, gegeben. Danach erfolgt durch die Steuervorrichtung eine geeignete, beispielsweise eine adaptive Vorgabe eines Strom-Sollwerts.

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausbildung des Verfahrens erfolgt eine Software-Realisierung der Detektion der Bewegung des Magnetankers mittels einer modellbasierten Detektion. Dabei wird durch eine Differenz zwischen dem gemessenen Spulenstrom und einem mittels eines linearen Begleitmodells berechneten, simulierten Strom das Lösen des Magnetankers detektiert.

Alternativ erfolgt eine Software-Realisierung mittels einer beobachterbasierten Detektion der Ankergeschwindigkeit. Dabei wird der nichtlineare Anteil der Bewegungsgleichung des Spulenstroms als Störgröße erfaßt und somit der Zeitpunkt des LöSENS des Magnetankers erkannt.

Die beobachterbasierte Detektion gibt außerdem einen Schätzwert der Ankergeschwindigkeit an, welcher in einem überlagerten Regelkreis mit einer Stellgrößenbeschränkung zum "Abfangen" des Magnetankers, insbesondere bei einer Online-Realisierung, nutzbar ist.

Der maximale Spulenstrom, welcher eine Stellgröße des Geschwindigkeitsreglers darstellt, wird dabei auf den Proportionalbereich, d. h. den Regelbereich, des Magneten beschränkt, damit der Magnetanker nicht wieder in die Halteposition zurückschnappt.

Alternativ zu den vorgenannten Online-Verfahren ist eine Software-Realisierung für das erfindungsgemäße Verfahren vorteilhafterweise auch in einem der nachfolgenden Offline-Verfahren einsetzbar.

So können beispielsweise die charakteristischen Parameter des Proportional-Magneten, wie z. B. das Zeitverhalten des Abschaltvorgangs oder die Stromschwellwerte, wie insbesondere der Durchschnapp-Grenzstrom oder die Stromamplituden der Gegeninduktion, am Produktionsbandende nach Fertigstellung des Magneten bzw. des Proportional-Druckregelventils, einmal ermittelt und in der zugehörigen elektronischen Steuervorrichtung, insbesondere der elektronischen Getriebesteuerung, eingespeichert werden.

Alternativ hierzu kann jedoch auch bei jedem Motorstart eines mit einem erfindungsgemäßen Proportional-Magnet ausgestatteten Kraftfahrzeugs der Proportional-Magnet getestet werden, indem die Zeitspanne zwischen einem Spannungssignal und einem Stromanstieg ausgewertet wird. Dies ist besonders vorteilhaft, da sich diese charakteristischen Größen während der Lebensdauer eines Kraftfahrzeugs verändern.

Die vorgenannten Ausbildungen und Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Steuerung eines Proportional-Magneten sind sinngemäß auch auf einen Proportional-Magneten selbst, welcher zur Durchführung des vorerwähnten Verfahrens verwendet wird, anwendbar.

Vorteilhafterweise sind der Proportional-Magnet, der Detektor und die Auslegung der Abschaltfunktion und der Stromregler sowie auch konstruktive Parameter des hydraulischen Teilsystems und der Elektronik als mechatronisches Gesamtsystem aufeinander abgestimmt.

In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird ferner vorgeschlagen, ein Proportional-Druckregelventil mit einem Proportional-Magneten der vorbeschriebenen Art auszustatten. Dabei ist das Druckregelventil mit einem Schieberventilkörper ausgebildet und dieser weist eine derartige geometrische Auslegung des Überdeckungsverhältnisses seiner Steuerkanten auf, so daß das Lösen des Magnetankers bereits festgestellt wird und die kontrollierte Führung in den Regelbereich beginnt, noch bevor die Bewegung des Magnetankers bzw. des Steuerelements eine hydraulische Wirkung erzeugt.

In einer alternativen Ausbildung des Proportional-Druckregelventils ist dieses mit einem Sitzventilkörper ausgestattet, der wiederum geometrisch derart ausgelegt ist, daß der sich nach dem Lösen des Ankers einstellende hydraulische Druck größer ist als der Kupplungshaltedruck.

Weitere Ziele, Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele, die in den Figuren näher dargestellt sind. Dabei bilden alle beschriebenen und/oder bildlich dargestellten Merkmale für sich oder in beliebiger sinnvoller Kombination den Gegenstand der Erfindung, unabhängig von ihrer Zusammenfassung in den Ansprüchen und deren Rückbeziehung.

Es zeigen:

Fig. 1 eine Magnetkraft-/Wegkennlinie mit Regel- und Haltebereich;

Fig. 2 die Induktivitäts-Kennlinie in Abhängigkeit vom Luftspalt;

Fig. 3 den Verlauf des Regeldrucks und des Spulenstroms während eines Abschaltvorgangs in Abhängigkeit der Zeit als Meßdiagramm;

Fig. 4 bis 6 die Verläufe von Spannung, Strom, Druck und Weg während eines Abschaltvorgangs als Funktion der Zeit;

Fig. 7 die Verläufe von hydraulischem Hauptdruck, Regeldruck und Regelstrom als Funktion der Zeit für den Übergang vom Regel- in den Haltebereich;

Fig. 8 die Verläufe gemäß Fig. 7 bei einem Hauptdruckeinbruch;

Fig. 9 einen Modellfolge-Detektor in schematischer Darstellung;

Fig. 10 einen Störgrößenbeobachter in schematischer Darstellung und

Fig. 11 ein 3/2-Wege-Proportional-Druckregelventil mit magnetischer Haltefunktion des Magnetankers in CE-(Closed-End-)Ausführung im Längsschnitt.

Der Weg eines Magnetankers (Fig. 1) in einem Proportional-Druckregelventil ist im wesentlichen in einen Regelbereich sowie einen Haltebereich unterteilbar, wobei die größte zurücklegbare Wegstrecke von beispielsweise ca. 5,3 mm der Endposition des Magnetankers an dem Magnetkern entspricht. Der Bereich von ca. 2 bis 4,5 mm wird als Regelbereich des Magneten bezeichnet. Bei einem konstanten Spulenstrom von beispielsweise 250 mA liegt die Magnetkraft im Regelbereich bei einem konstanten Wert um ca. 20 N. In dem Haltebereich oberhalb 4,5 mm Weg des Magnetankers steigt die Magnetkraft bis zur Anschlag- bzw. Halteposition überproportional an. Die Magnetkraft selbst folgt einem Hystereseverlauf, so daß ein Schließen und Öffnen des Magneten in etwa auf derselben Kurve verläuft.

Umgekehrt proportional zum Weg des Magnetankers nach Fig. 1 stellt sich ein Luftspalt (Fig. 2) zwischen der Stirnseite des Magnetankers und dem Magnetkern ein, d. h., der Bereich kleiner Luftspalte ist elektrisch durch eine erhöhte Induktivität gekennzeichnet, welche sich mit zunehmendem Luftspalt, also mit dem Lösen des Ankers, reduziert. Das Lösen des Ankers induziert dann eine zeitabhängige Spannung, welche über den Spulenwiderstand unmittelbar den Spulenstrom beeinflusst.

Der Spulenstrom  $I_{\text{Spule}}$  verhält sich proportional zum Regeldruck  $P_{\text{Regel}}$  und wird in der elektronischen Steuervorrichtung direkt als Meßsignal zur Verfügung gestellt, so daß ohne zusätzliche Sensorik die Wegänderung des Ankers gemäß Fig. 1 erkannt werden kann. Zu Beginn eines Abschaltvorgangs (Fig. 3) wird der Spulenstrom von einem nicht gezeigten Maximalwert auf einen Minimalwert  $I_{\text{min}}$  reduziert, welcher bis zum Zeitpunkt  $t_2$  durch eine pulsweiten-modulierte Spulenspannung  $U_{\text{Spule}}$  erzeugt wird. In dem dargestellten modulierten Verlauf von  $I_{\text{Spule}}$  erfolgen in 10 msec fünf Perioden, so daß dies in diesem Beispiel einer Frequenz von 500 Hz entspricht. Während dieses Zeitraums bis zum Erreichen von  $t_2$  verläuft der Regeldruck  $P_{\text{Regel}}$  konstant auf einem Wert von ca. 18 bar. Der Stromregler befindet sich in seiner unteren Stellgrößenbeschränkung, so daß dieser die Stellgröße nicht weiter zurücknehmen kann. Dies ist notwendig, damit ein durch Gegeninduktion verursachter Stromanstieg, der detektiert werden soll, nicht durch den Regler abgeschwächt wird.

Die Bewegung des Ankers beim Abfallen des Magneten ist erfindungsgemäß durch einen Anstieg des Spulenstroms infolge der nach dem Zeitpunkt  $t_2$  einsetzenden Gegeninduktion erkennbar. Mit dem vorgeschlagenen Detektor wird diese Stromüberhöhung abhängig von einem frei programmierbaren Schwellstrom  $I_{\text{Schwell}}$  erkannt, wodurch wiederum das eigentliche - hier nicht dargestellte - Abfangen ausgelöst wird. Nach der Detektion des Schwellwertes wird der Spulenstrom auf einen konstanten Sollwert  $I_{\text{Soll}}$  zurückgenommen.

In einem typischen Abschaltvorgang eines Proportional-Magneten (Fig. 4 bis 6) wird die zunächst konstante Spulenspannung  $U_{\text{Spule}}$  zum Zeitpunkt  $t_1$  abgeschaltet. Zum selben Zeitpunkt  $t_1$  (Fig. 5) beginnt auch die Reduktion des Spulenstroms  $I_{\text{Spule}}$  bis zum Zeitpunkt  $t_2$ . In  $t_2$  setzt die Gegeninduktion ein, so daß der Spulenstrom kurzzeitig überhöht wird bis zum Zeitpunkt  $t_3$ . Anschließend

wird der Spulenstrom gemäß der Erfindung auf einem Wert  $I_{\text{Abfang}}$  abgefangen. Ohne die erfindungsgemäße Abfangfunktion würde der Spulenstrom auf einen Wert kleiner  $I_{\text{Abfang}}$  (gestrichelte Linie) fallen.

Der Ankerweg  $s$  (Fig. 6) bleibt bis zum Erreichen des Zeitpunkts  $t_2$  konstant, d. h., daß der Anker sich auch nicht bewegt. Nach Erreichen von  $t_2$ , zu dem die Abfangfunktion einsetzt, beginnt der Anker sich aus seiner Position zu lösen, was durch den Abfall des Verlaufs des Ankerwegs  $S$  nach  $t_2$  erkennbar ist. Durch die Abfangfunktion wird der Anker bei einem Wert  $S_{\text{Regel}}$  eingefangen, der anschließend konstant gehalten wird. Ohne den erfindungsgemäßen Eingriff in den Spulenstrom jedoch würde der Verlauf des Ankerwegs  $S$  entlang der gestrichelten Linie erfolgen.

Der hydraulische Regeldruck  $P_{\text{Regel}}$  des Proportional-Druckregelventils liegt zunächst auf einem konstanten Wert von beispielsweise 18 bar. Erst nachdem der Anker einen definierten Weg zurückgelegt hat, beispielsweise zum Zeitpunkt  $t_4$ , beginnt auch der Druckeinbruch. Ohne einen Eingriff in die Druckregelung würde der hydraulische Regeldruck  $P_{\text{Regel}}$  in etwa in einem Verlauf entlang der gestrichelten Linie abfallen. Durch einen Eingriff in den Spulenstrom jedoch wird der Regeldruck somit auf einem Wert oberhalb von z. B. 12 bar abgefangen.

Im Unterschied zu den vorgenannten Figuren beschreiben Fig. 7 und 8 die Signalverläufe beim Durchschalten des Magneten vom Regel- in den Haltebereich.

Der Verlauf des hydraulischen Hauptdrucks  $P_{\text{HD}}$ , des Regeldrucks  $P_{\text{Regel}}$  sowie des Regelstroms  $I_{\text{Regel}}$  ist in Fig. 7 dargestellt. Der hydraulische Hauptdruck  $P_{\text{HD}}$ , oder auch Systemdruck genannt, verbleibt üblicherweise auf einem konstanten Wert. Dagegen nimmt der Regeldruck  $P_{\text{Regel}}$  mit zunehmendem Regelstrom  $I_{\text{Regel}}$  ebenfalls zu, bis der Regeldruck in etwa dem hydraulischen Hauptdruck entspricht. Zu diesem Zeitpunkt wird ein Durchschnapp-Grenzstrom  $I_{\text{Durchschnapp-Grenz}}$  erreicht. Der Regelstrom fällt infolge der Gegeninduktion kurzzeitig ab. Der vorgeschlagene Detektor kann anhand dieses Stromeinbruchs den Durchschnapp-Grenzstrom erkennen. Dieser Wert ist als Basis für die Berechnung des Abfangstroms verwendbar. Anschließend wird der Regelstrom bis auf den Durchschnapp-Strom wieder erhöht, wobei der Durchschnapp-Strom oberhalb des Durchschnapp-Grenzstroms liegt. Nach dem Erreichen des Durchschnapp-Stroms wird der Regelstrom wieder stufenförmig reduziert bis auf den Wert eines Haltestroms  $I_{\text{Halte}}$ , welcher den Magnetanker eines Proportional-Druckregelventils in seiner Anschlagposition hält.

In einem kritischen Systemzustand (Fig. 8) ist es vorstellbar, daß beispielsweise der hydraulische Hauptdruck  $P_{\text{HD}}$  einbricht. Dies ist durch den steilen Abfall und den anschließenden Wiederanstieg des Druckverlaufs gekennzeichnet. Im Moment des Druckeinbruchs entsteht ein Ungleichgewicht zwischen Druckkraft und Magnetkraft und es kann zu einem ungewollten Übergang in die Haltefunktion kommen. Dieses Durchschnappen wird aber ebenfalls vom vorgeschlagenen Detektor erkannt, so daß unmittelbar ein Abfangvorgang eingeleitet werden kann.

Zur erfindungsgemäßen Detektion der Ankerbewegung im Schaltvorgang sind prinzipiell verschiedene Verfahren denkbar, wobei die Software-Realisierung in einer modellbasierten Detektion mit einem linearen Begleitmodell (Fig. 9) oder in einer beobachterbasierten Detektion der Ankerschwindigkeit mittels eines Störgrößenbeobachters (Fig. 10) ausführbar ist.

Bei der modellbasierten Detektion (Fig. 9) wird durch eine Eingangsspannung in eine reale Spule ein Spulenstrom erzeugt, wobei die Eingangsspannung von der induzierten

Spannung im realen System überlagert ist. Die Auswirkung der Ankergeschwindigkeit auf den Spulenstrom ist dabei durch eine nichtlineare Bewegungsgleichung darstellbar. Ein lineares Begleitmodell berücksichtigt die induzierte Spannung nicht und liefert beim Abschalten der Eingangsspannung, ausgehend vom Maximalstrom, den gleichen Stromverlauf wie die Messung, solange die Ankergeschwindigkeit Null ist. An der Differenz zwischen dem gemessenen und dem in dem linearen Modell simulierten Strom ist die Ankerbewegung, insbesondere das Losreißen des Ankers, detektierbar. Sowohl das lineare Begleitmodell als auch der Detektor sind in der elektronischen Getriebesteuerung EGS zusammengefaßt.

Fig. 10 beschreibt alternativ das Konzept des Störgrößenbeobachters, der aus dem gemessenen Spulenstrom und der Eingangsspannung die Ankergeschwindigkeit schätzt. Die Gegeninduktion wird hierbei als geschwindigkeitsabhängige Störgröße aufgefaßt, wobei diese Abhängigkeit im Beobachter beschrieben ist.

Das Druckregelventil 1 (Fig. 12) besteht im wesentlichen aus einem Ventilgehäuse 2 und einem Proportional-Magnet 3, wobei die Zu- und Ablauföffnungen 4, 5, 6 in dem unteren Teil des Ventilgehäuses 2 angeordnet sind. Ein Steuerelement 7 zum Öffnen und Schließen von Ventilsitz 16 und Schieberkante 17 ist mit einer Ankerstange 8 verbunden, welche eine Ankerachse 9 aufweist und wobei die Ankerstange 8 in einer Buchse 24 geführt ist und das eine Ende der Ankerstange 8 in den Innenraum eines Magnetankers 11 hineinragt. Der Magnetanker 11 bildet zusammen mit einem Magnetkern 10 und einer Magnetspule 12 den Proportional-Magnet 3.

Zur Verbindung des Steuerelements 7 mit dem Proportional-Magnet 3 ist eine Scheibe 21 an dem genannten Ende der Ankerstange 8 befestigt. Dieses Ende der Ankerstange 8 mit der Scheibe 21 ragt in eine im wesentlichen zylindrische Ausnehmung in den Magnetanker 11 hinein. Zwischen der Scheibe 21 und dem Boden der Ausnehmung in dem Anker 11 ist eine schraubenförmige Druckfeder 20 angeordnet. Dadurch wird eine starre Verbindung zwischen der Ankerstange 8 und dem Magnetanker 11 vermieden. In der hier gezeigten Darstellung befindet sich der Magnetanker 11 in einer Endposition, und zwar der "oberen" Anschlagposition, so daß der Abstand 13 zwischen der Stirnseite 14 des Magnetankers 11 und der Stirnseite 15 des Magnetkerns 10 maximal ist. In der ersten Endposition, welche der Halteposition des Magnetankers 11 entspricht, beträgt der Abstand 13 ca. 0 bis 0,3 mm, bevorzugt ca.  $\leq 0,1$  mm.

Das Steuerelement 7 wird somit von dem Magnetanker 11 über die Druckfeder 20 und die Scheibe 21 einerseits in seine erste "untere" Endposition bewegt. In dieser - nicht gezeigten - Halteposition ist der Flachsitz 16 geschlossen, so daß der an der Zulauföffnung 4 anstehende hydraulische Druck über die drei Bohrungen 18 nicht zu der Ablauföffnung 6 gelangen kann. Ein Öffnen des Flachsitzes 16 wird dadurch erreicht, daß der Steuerstrom der Magnetspule reduziert und dadurch auch die magnetische Haltekraft des Magnetankers 11 so weit zurückgenommen wird, daß der Magnetanker 11 von dem Magnetkern 10 gelöst wird. Anschließend wird der Steuerstrom sofort wieder hochgefahren (Schleifenansteuerung), so daß der "Druckeinbruch" beim Abfallen des Ankers nicht im Feinregulierungsbereich spürbar wird. Auch kann der Flachsitz 16 dadurch geöffnet werden, indem der hydraulische Hauptdruck innerhalb der Zulauföffnung 4 und des Ringkanals 18 so weit erhöht wird, so daß die hydraulische Kraft auf die "untere" Ringfläche des Flachsitzes 16 größer ist als die magnetische Haltekraft, welche den Anker 11 auf dem Magnetkern 10 festhält.

Das Proportional-Druckregelventil 1 ist beispielsweise

mittels eines Koaxialsteckers 23 mit einer nicht gezeigten elektrischen Steuereinrichtung EGS verbunden.

#### Bezugszeichen

- 1 Proportional-Druckregelventil
- 2 Ventilgehäuse
- 3 Proportional-Magnet
- 4 Zulauföffnung
- 5 Arbeitsanschluß
- 6 Ablauföffnung
- 7 Steuerelement, Ventilkörper
- 8 Ankerstange
- 9 Ankerachse
- 10 Magnetkern
- 11 Magnetanker
- 12 Magnetspule
- 13 Abstand
- 14 Stirnseite Magnetanker
- 15 Stirnseite Magnetkern
- 16 Flachsitz
- 17 Schieberkante
- 16 Bohrung
- 19 Feder
- 20 Druckfeder
- 21 Scheibe
- 23 Koaxialstecker
- 24 Buchse
- I\_Spule Spulenstrom
- I\_min Mindeststrom
- I\_Schwell Schwellstrom
- I\_Abfang Abfangstrom
- I\_Regel Regelstrom
- I\_Durchschnapp\_Grenz Durchschnapp-Grenzstrom
- I\_Halte Haltestrom
- I\_Soll Sollstrom
- U\_Spule Spulenstrom
- P\_Regel Regeldruck
- P\_HD Haltedruck
- t\_1 Zeitpunkt
- t\_2 Zeitpunkt
- t\_3 Zeitpunkt
- t\_4 Zeitpunkt
- S Ankerweg
- EGS elektronische Getriebesteuerung

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung eines Proportional-Magneten (3) mit einem Magnetkern (10), einem Magnetanker (11) und einer Magnetspule (12), wobei der Proportional-Magnet (3) mit einer elektronischen Steuervorrichtung zur Betätigung eines Steuerelements (7) in einem Schaltventil oder einem Proportional-Druckregelventil (1), insbesondere einem Druckregelventil für die Kupplungsbetätigung in einem automatischen Kraftfahrzeug-Getriebe, verbunden ist und der Magnetanker (11) zwischen einem Regelbereich und einem Haltebereich mit einer magnetischen Halteposition des Magnetankers (11) hin- und herbewegbar ist und ein definierter Übergang vom Regelbereich in die Halteposition ausführbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß Mittel vorgesehen sind, welche die Bewegungen des Magnetankers (11) erkennen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Spulenstrom (I\_Spule) als direktes Meßsignal in der elektronischen Steuervorrichtung, insbesondere einer elektronischen Getriebesteuerung (EGS)

vorliegt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel das Lösen des Magnetankers (11) aus der Halteposition erkennen und der Magnetanker (11) mittels der elektronischen Steuervorrichtung kontrolliert aus der Halteposition in den Regelbereich überführbar ist. 5
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel das Durchschalten des Magnetankers (11) vom Regelbereich in die Halteposition erkennen und mittels der elektronischen Steuervorrichtung ein zugehöriger Durchschnapp-Grenzstrom ( $I_{\text{Durchschnapp\_Grenz}}$ ) detektiert und zur Berechnung des Abfangstromes ( $I_{\text{Abfang}}$ ) verwendet wird. 10
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel das unbeabsichtigte Durchschalten vom Regel- in den Haltebereich, beispielsweise bei einem Hauptdruckeinbruch, erkennen. 15
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in der elektronischen Getriebesteuerung (EGS) eine Strom-Schwellwertvorgabe ( $I_{\text{Schwell}}$ ) abgespeicherbar ist, so daß beim Überschreiten dieser Vorgabe der Zeitpunkt des LöSENS des Magnetankers (11) feststellbar ist. 20
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Lösen des Magnetankers (11) von dem Magnetkern (10) eine Korrektur des Spulenstroms ( $I_{\text{Spule}}$ ) erfolgt. 25
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Proportional-Druckregelventil (1) mit einem Schieberventilkörper ausgebildet ist und dieser eine derartige geometrische Auslegung der Überdeckungsverhältnisse seiner Steuerkanäle aufweist, so daß das Lösen des Magnetankers (11) festgestellt wird und die kontrollierte Führung in den Regelbereich beginnt, bevor die Bewegung des Magnetankers (11) bzw. des Ventilkörpers (7) eine hydraulische Wirkung erzeugt. 30
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem Proportional-Druckregelventil mit einem Sitzventilkörper dieser geometrisch derart ausgelegt ist, daß der sich nach dem Lösen des Magnetankers (11) einstellende hydraulische Druck ( $P_{\text{Regel}}$ ) größer ist als der Kupplungshaltedruck. 35
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Detektion der Bewegung des Magnetankers (11) in Hardware oder in Software realisierbar ist. 40
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Hardware-Realisierung der Detektion mittels eines ASIC erfolgt. 45
12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß einzelne Spitzenwerte des Spulenstroms ( $I_{\text{Spule}}$ ) detektiert werden und beim Lösen des Magnetankers (11) der Spulenstrom ( $I_{\text{Spule}}$ ) sofort wieder auf einen Sollwert ( $I_{\text{Soll}}$ ) angehoben wird, der die Schaltelemente, beispielsweise die Kupplungen in einem Getriebe, auf einem sicheren Schließdruck hält. 50
13. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß einzelne Spitzenwerte des Spulenstroms ( $I_{\text{Spule}}$ ) detektiert werden und beim Lösen des Magnetankers (11) ein binäres Signal an die elektronische Getriebesteuerung (EGS) erfolgt, welche danach eine geeignete, beispielsweise adaptive, Vorgabe eines Strom-Sollwerts ( $I_{\text{Soll}}$ ) vornimmt. 55
14. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß eine Software-Realisierung mittels einer

modellbasierten Detektion erfolgt, wobei durch eine Differenz zwischen dem gemessenen Spulenstrom ( $I_{\text{Spule\_gemessen}}$ ) und einem mittels eines linearen Begleitmodells berechneten, simulierten Strom ( $I_{\text{Spule\_berechnet}}$ ) das Lösen des Magnetankers (11) detektierbar ist.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Detektion der Bewegungen des Magnetankers (11) mittels eines Beobachters erfolgt.

16. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß eine Software-Realisierung mittels einer beobachterbasierten Detektion der Ankergeschwindigkeit erfolgt, wobei der nichtlineare Anteil der Bewegungsgleichung des Spulenstroms ( $I_{\text{Spule\_nichtlinear}}$ ) als Störgröße erfaßt und der Zeitpunkt ( $t_2$ ) des LöSENS des Magnetankers (11) erkannt wird.

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die beobachterbasierte Detektion einen Schätzwert der Ankergeschwindigkeit angibt, welche in einem überlagerten Regelkreis mit einer Stellgrößenbeschränkung zum "Abfangen" des Magnetankers (11), insbesondere bei einer Online-Realisierung, nutzbar ist.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Software-Realisierung in einem Offline-Verfahren einsetzbar ist.

19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß die charakteristischen Parameter, wie z. B. das Zeitverhalten des Abschaltvorgangs oder Stromschwellwerte, des Proportional-Magneten (11) am Produktions-Bandende nach Fertigstellung des Magneten einmal ermittelt und in der zugehörigen elektronischen Getriebesteuerung (EGS) eingespeichert werden.

20. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß bei jedem Motorstart eines mit dem Proportional-Magnet (3) ausgestatteten Kraftfahrzeugs der Proportional-Magnet (3) getestet wird, indem die Zeitspanne zwischen einem Spannungssignal und dem Stromanstieg ( $t_2 - t_1$ ) ausgewertet wird.

21. Proportional-Magnet (3) zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 20, mit einem Magnetkern (10), einem Magnetanker (11), einer Magnetspule (12), wobei der Proportional-Magnet (3) mit einer elektronischen Steuervorrichtung (EGS) zur Betätigung eines Steuerelements (7) in einem Schaltventil oder einem Proportional-Druckregelventil (1), insbesondere einem Druckregelventil für die Kupplungsbetätigung in einem automatischen Kraftfahrzeug-Getriebe, verbunden ist und der Magnetanker (11) zwischen einem Regelbereich und einem Haltebereich mit einer magnetischen Halteposition des Magnetankers (11) hin- und herbewegbar ist und ein definierter Übergang vom Regelbereich in die Halteposition ausführbar ist, dadurch gekennzeichnet, daß Mittel vorgesehen sind, welche die Bewegungen des Magnetankers (11) erkennen.

22. Proportional-Magnet nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel das Lösen des Magnetankers (11) aus der Halteposition erkennen und der Magnetanker (11) mittels der elektronischen Steuervorrichtung kontrolliert aus der Halteposition in den Regelbereich überführbar ist.

23. Proportional-Magnet nach Anspruch 21 oder 22, dadurch gekennzeichnet, daß der Spulenstrom ( $I_{\text{Spule}}$ ) als direktes Meßsignal in der elektronischen Steuervorrichtung, insbesondere einer Getriebesteue-

rung (EGS), zur Verfügung steht.

24. Proportional-Magnet nach einem der Ansprüche 21 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß ein Beobachter für die Bewegung des Magnetankers (11) vorgesehen ist.

5

25. Proportional-Magnet nach einem der Ansprüche 21 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß der Beobachter und die Auslegung der Abschaltfunktion und der Stromregler sowie konstruktive Parameter als mechanisches Gesamtsystem aufeinander abgestimmt sind.

10

26. Proportional-Magnet nach einem der Ansprüche 21 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Detektion der Bewegung des Magnetankers (11) in Hardware oder in Software realisierbar ist.

15

27. Proportional-Magnet nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß zur Hardware-Realisierung der Detektion ein ASIC vorgesehen ist.

28. Proportional-Druckregelventil mit einem Proportional-Magnet nach einem der Ansprüche 21 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß das Druckregelventil (1) mit einem Schieberventilkörper ausgebildet ist und dieser eine derartige geometrische Auslegung der Überdeckungsverhältnisse seiner Steuerkanten aufweist, so daß das Lösen des Magnetankers (11) festgestellt wird und die kontrollierte Führung in den Regelbereich beginnt, bevor die Bewegung des Magnetankers (11) bzw. des Steuerelements (7) eine hydraulische Wirkung erzeugt.

20

25

29. Proportional-Druckregelventil nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer Verwendung des Druckregelventils (1) mit einem Sitzventilkörper dieser geometrisch derart ausgelegt ist, daß der sich nach dem Lösen des Magnetankers (11) einstellende hydraulische Druck (P\_Regel) größer ist als der Kuppelungshaltedruck.

30

35

---

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen

---

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -



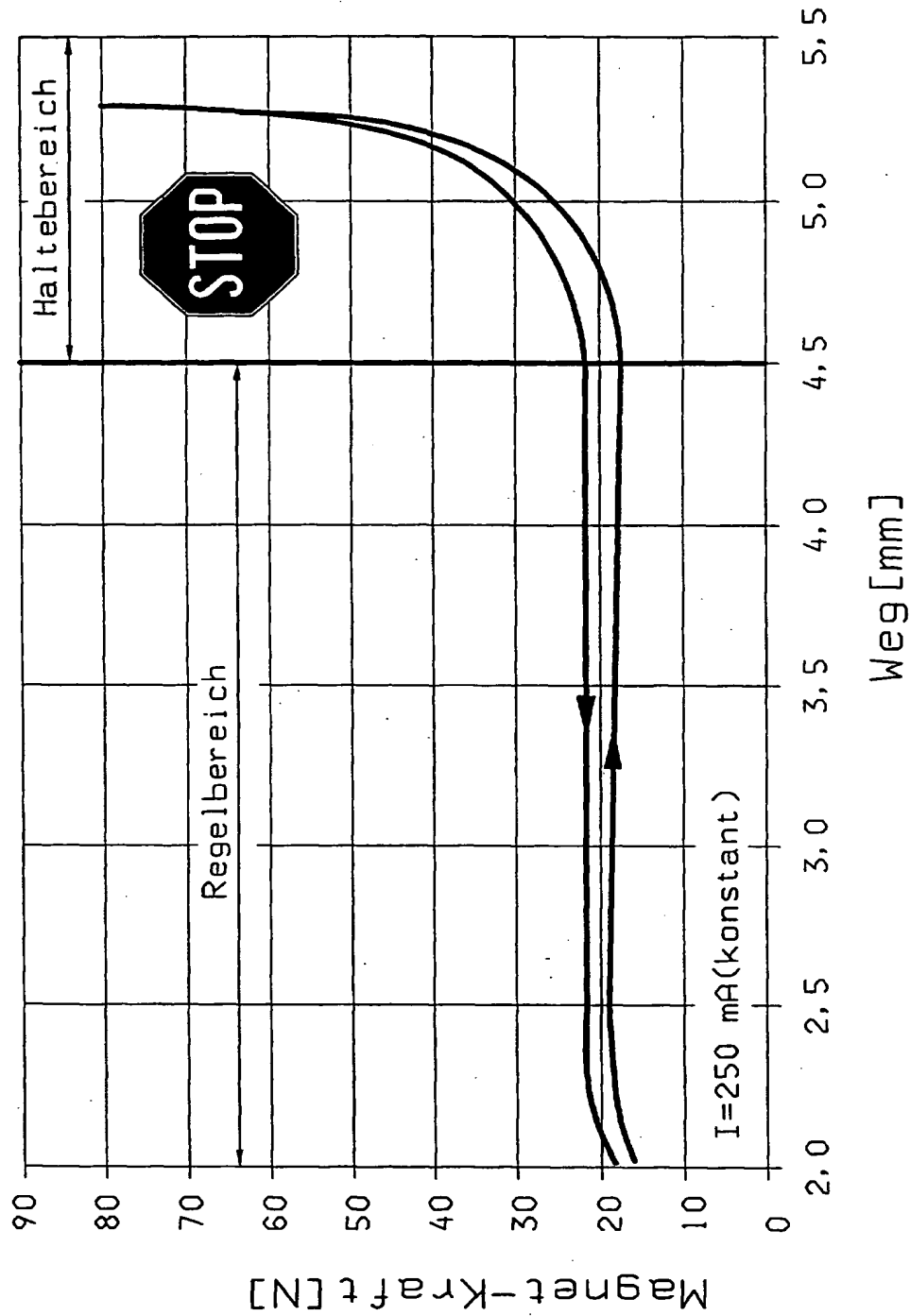


Fig. 1

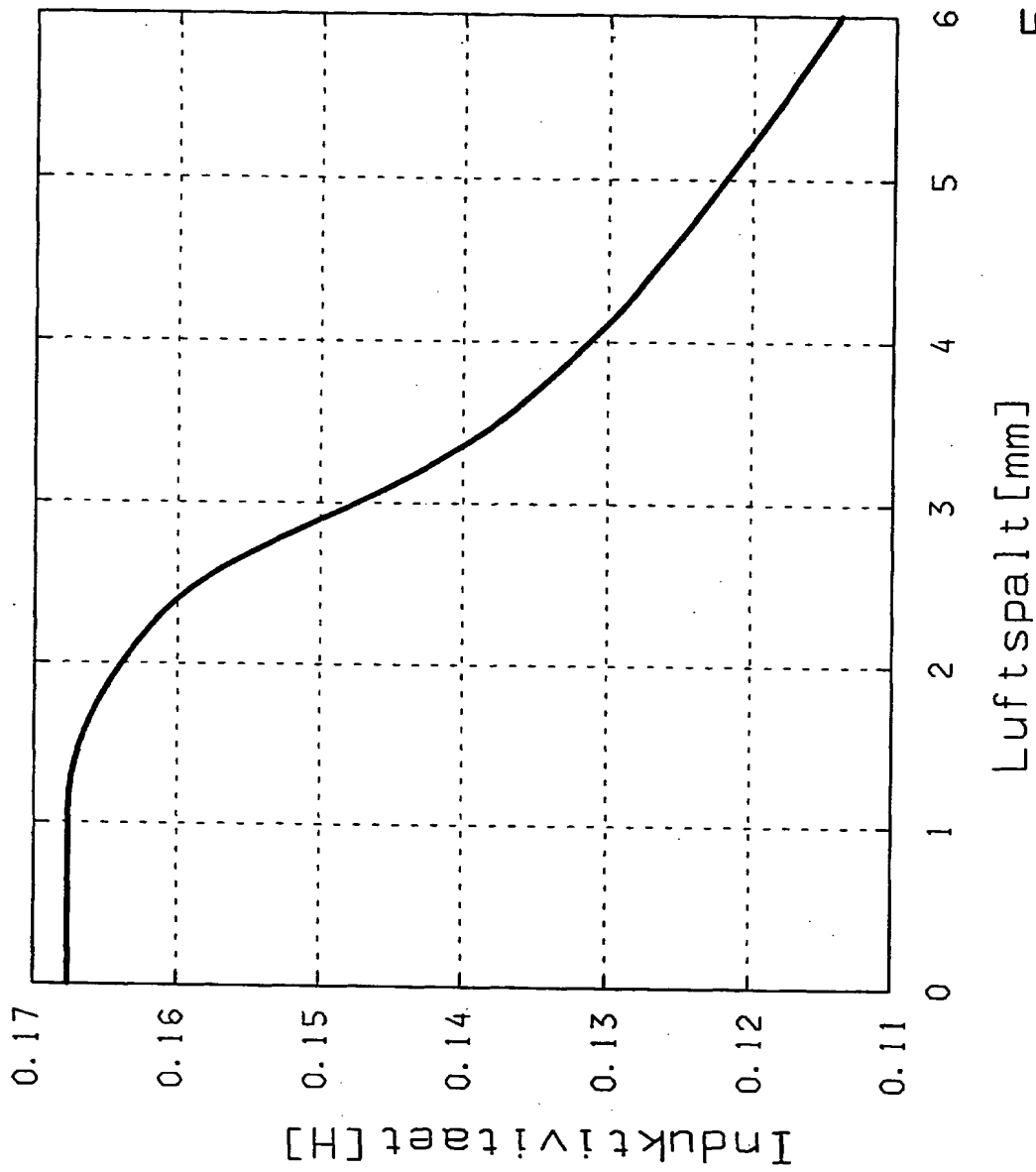
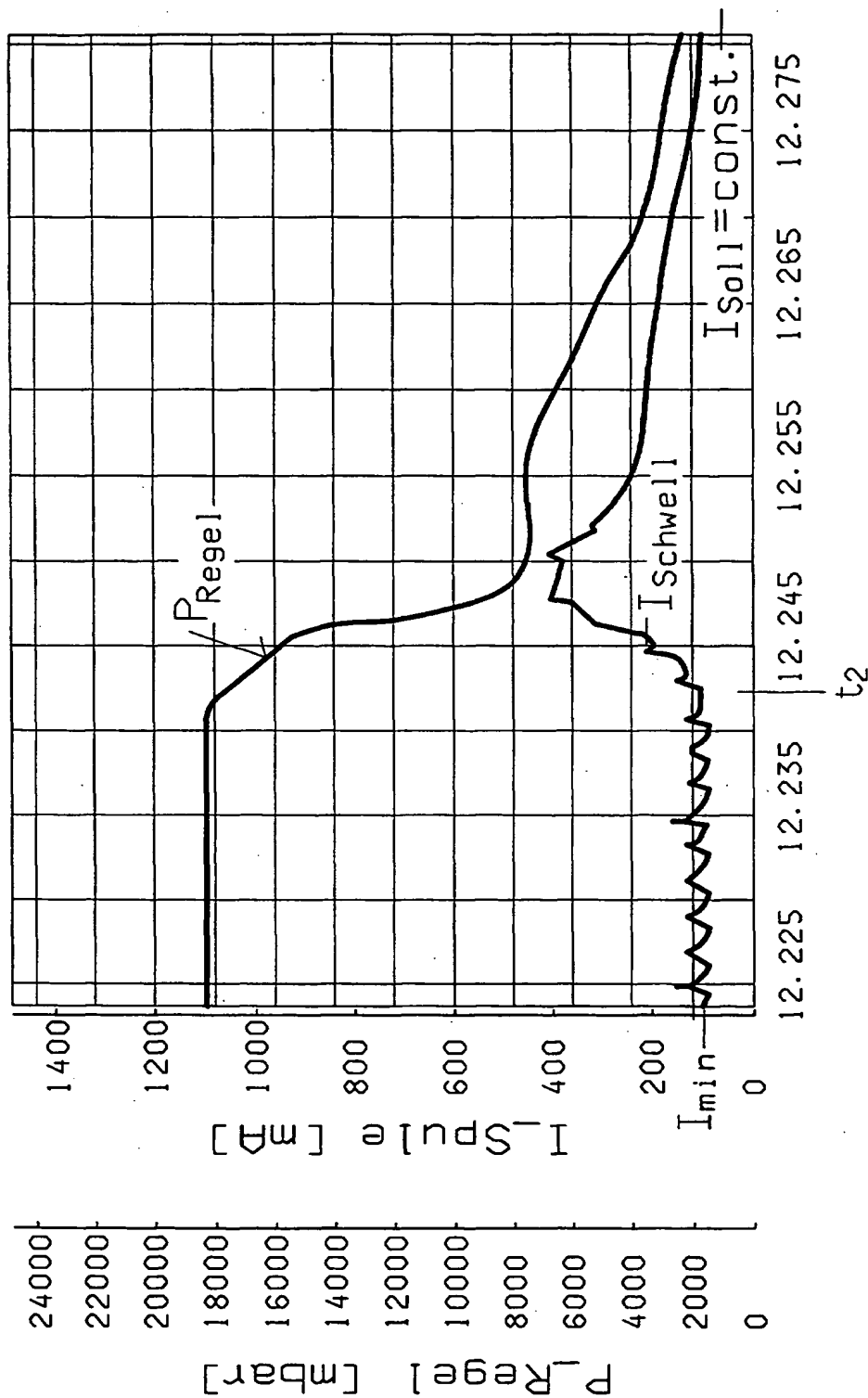
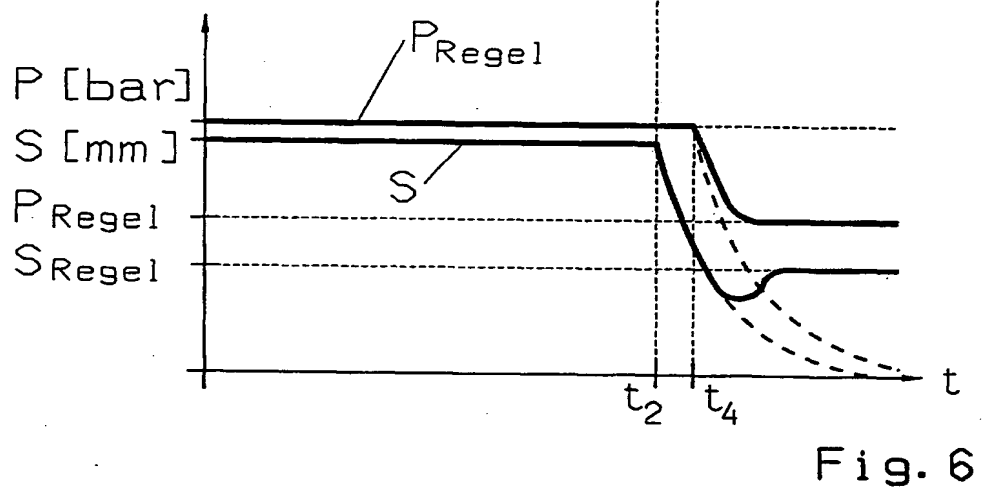
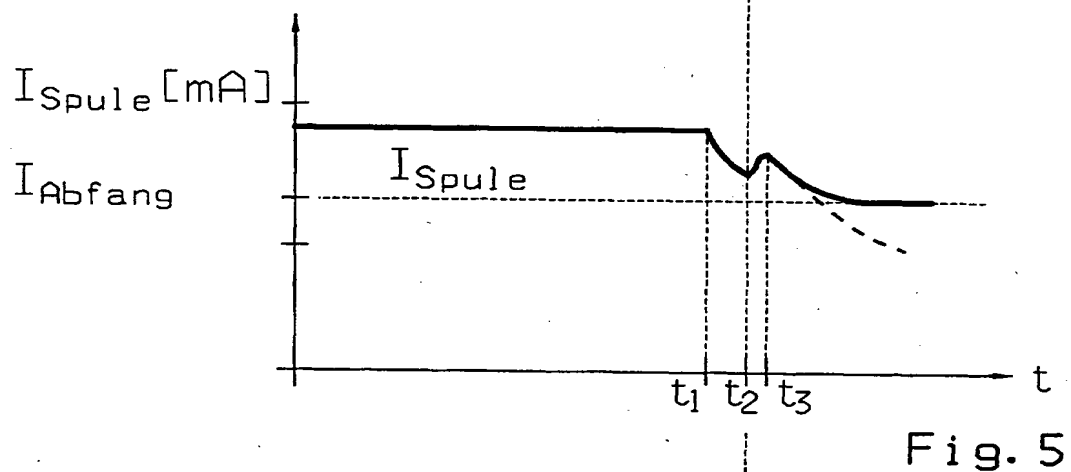
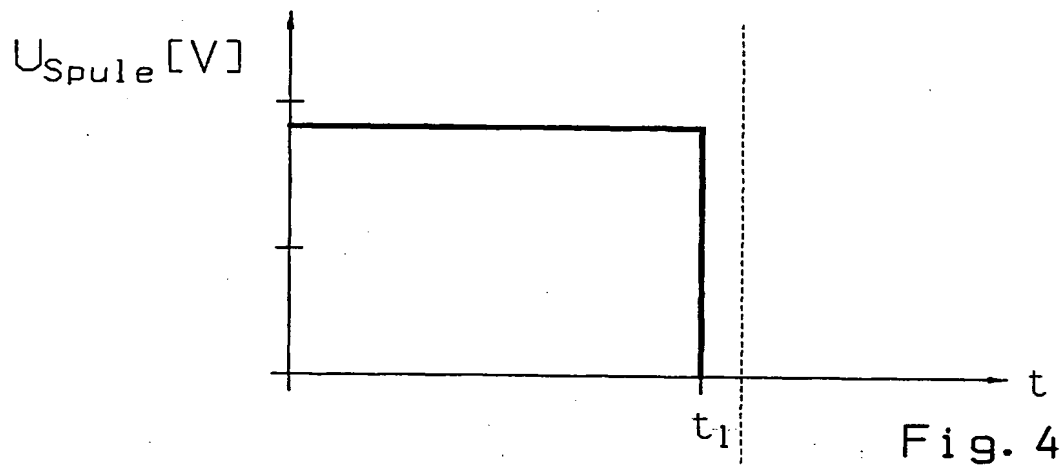


Fig. 2



Messzeit [sek.]

Fig. 3



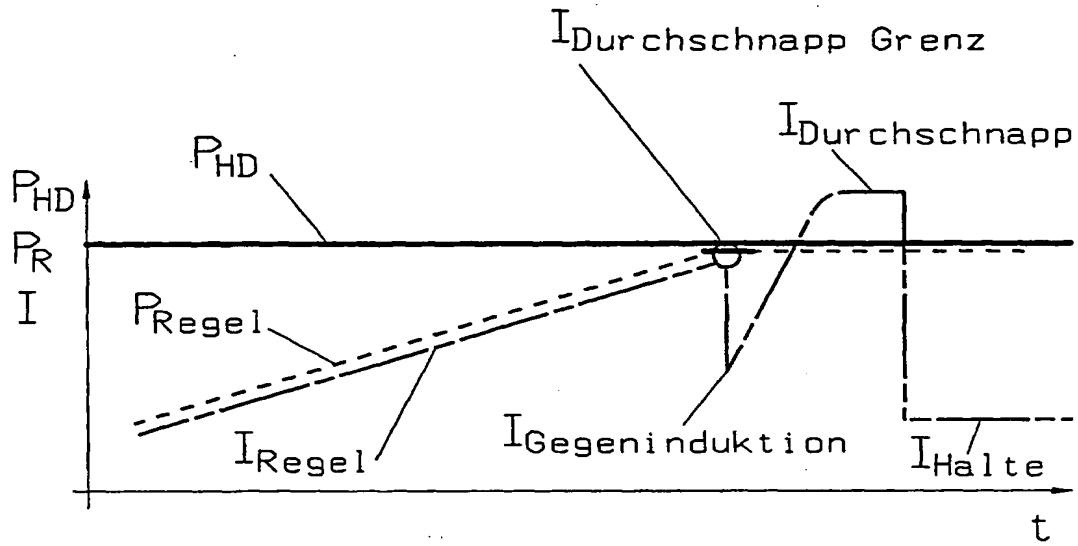


Fig. 7

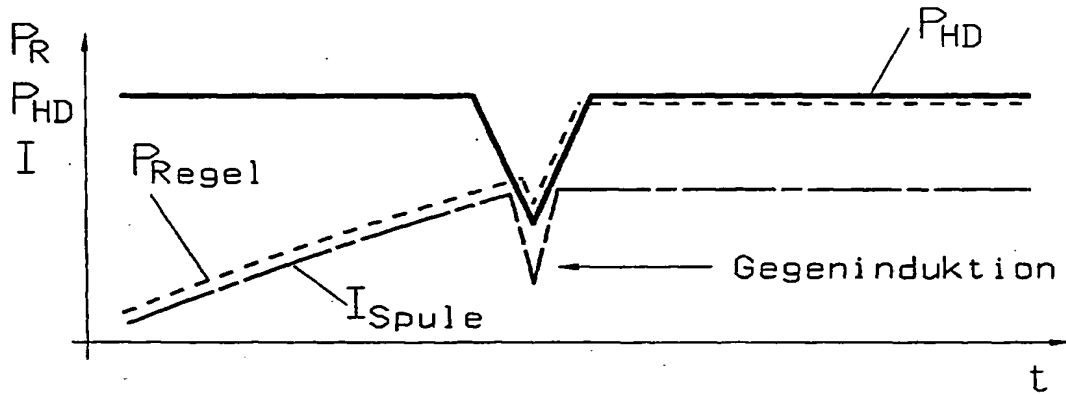


Fig. 8

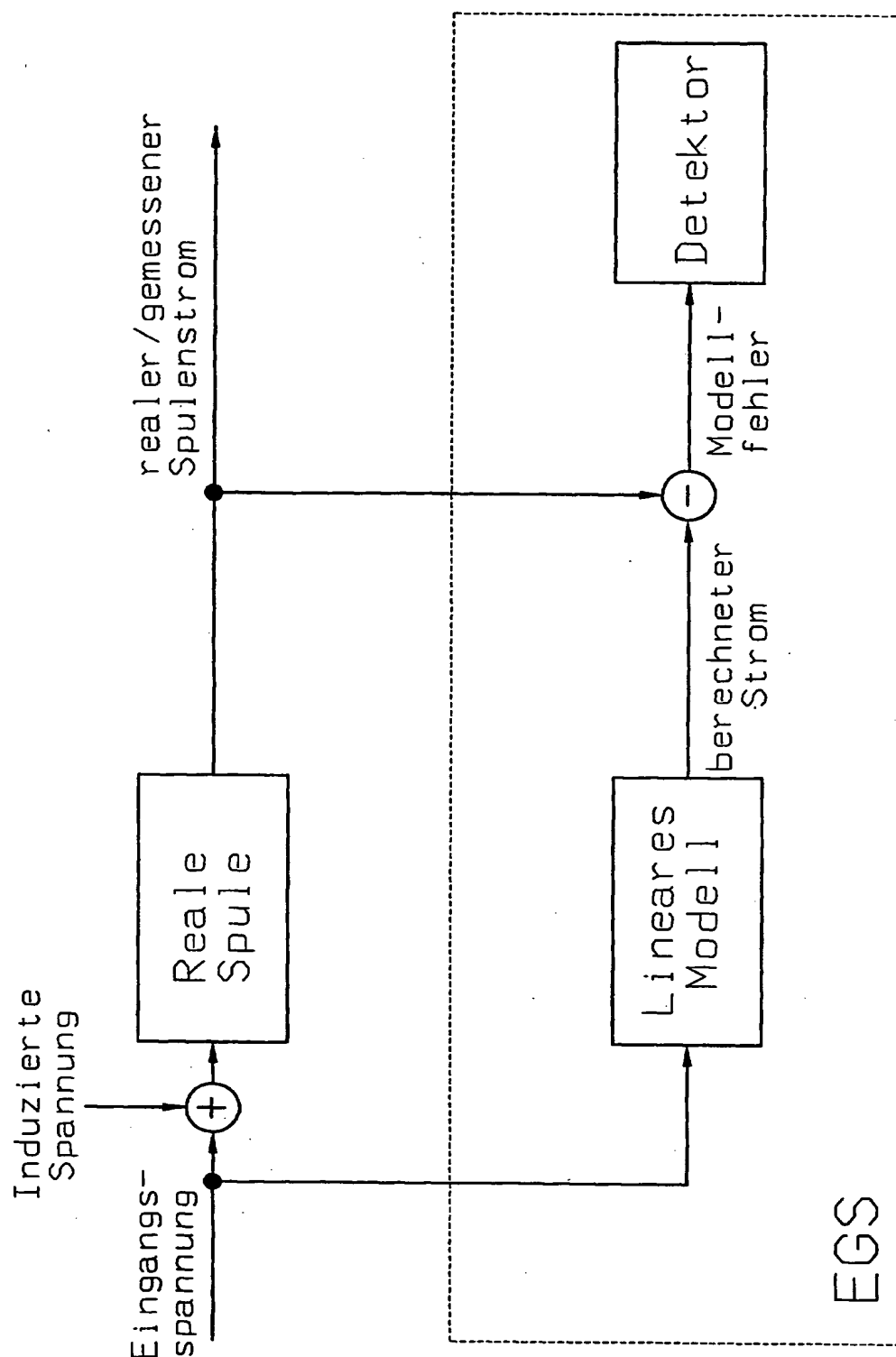


Fig. 9

Gegeninduktion  
wirkt als Störung  $= f(\dot{x})$

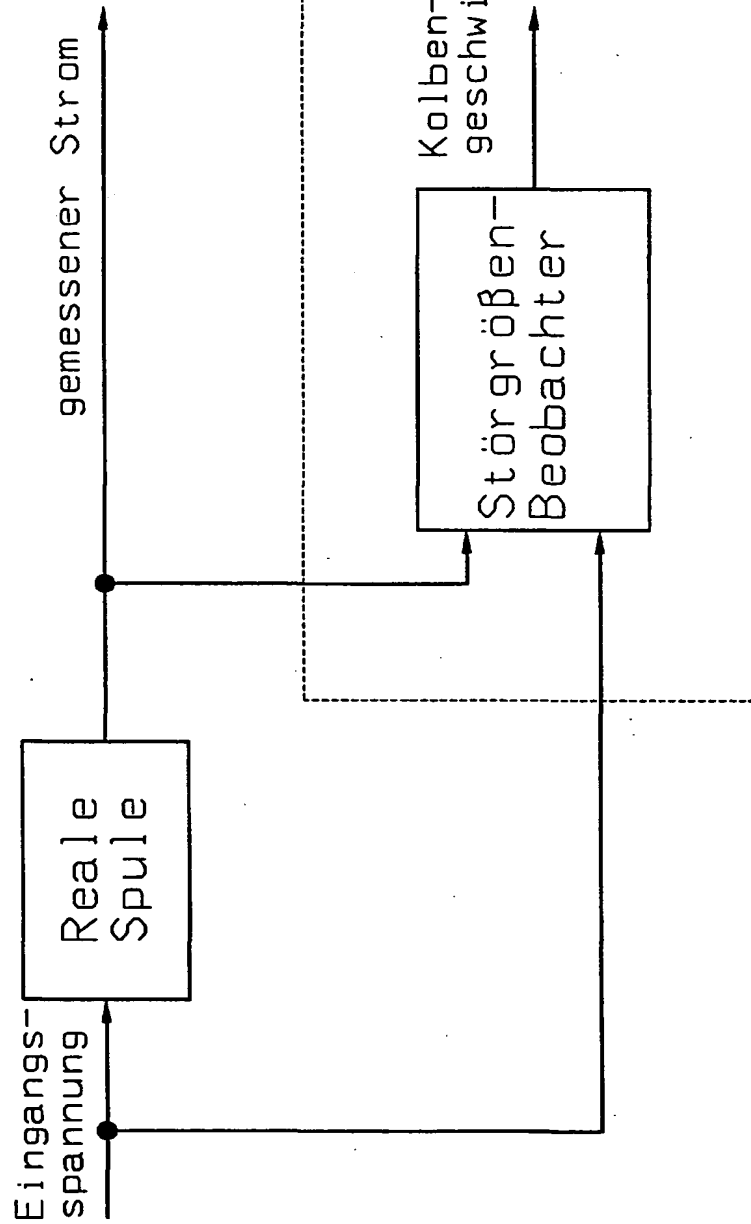


Fig. 10

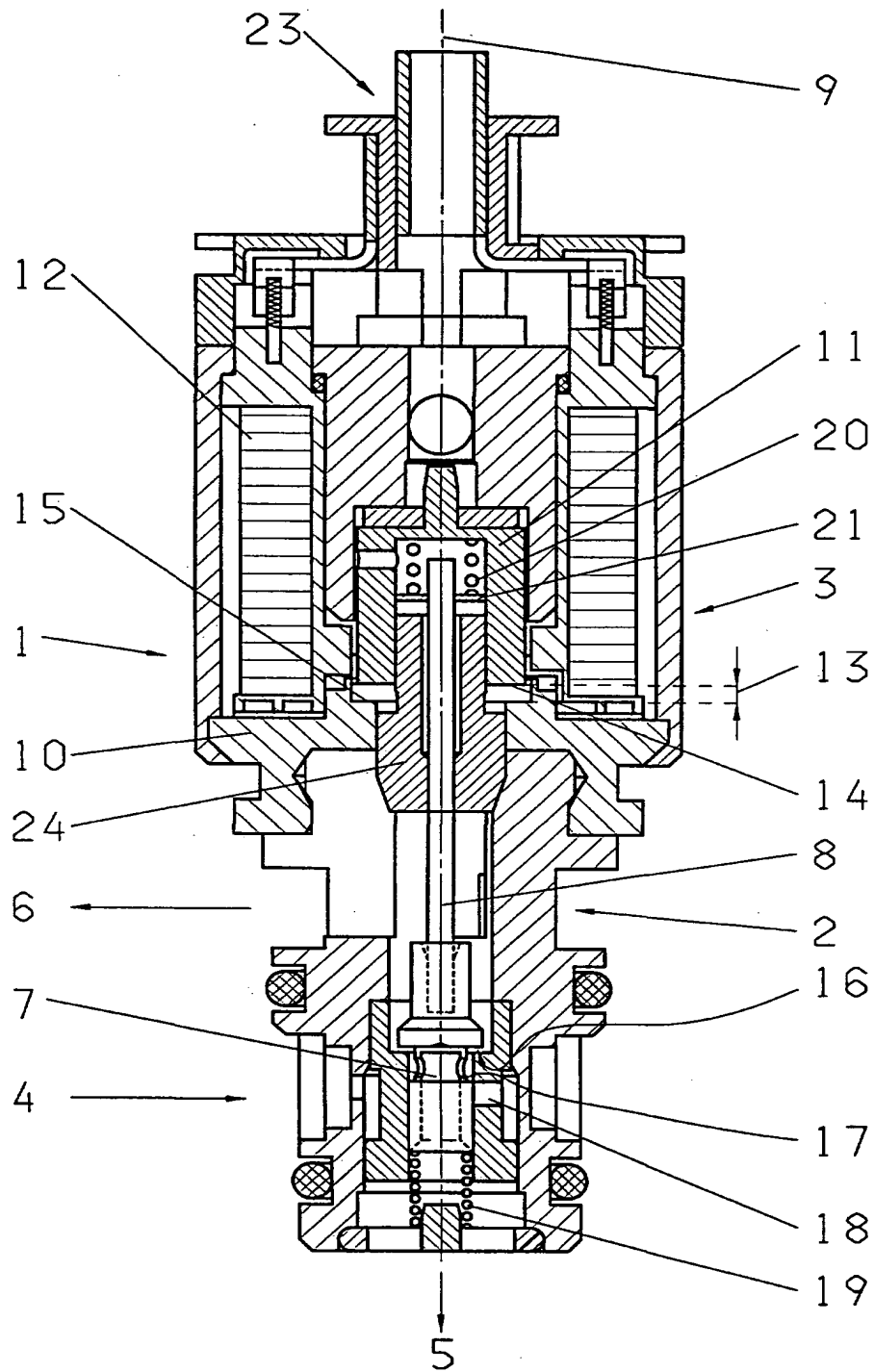


Fig. 11